

Aneta MIKULSKA¹

WPLYW SKŁADU CHEMICZNEGO NA UDARNOŚĆ STALIWA TYPU Cr-Mo-V-Cu-Ni W UJEMNEJ TEMPERATURZE

W artykule przedstawiono wyniki badań udarności w temperaturze $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ staliw typu Cr-Mo-V-Cu-Ni. Badania oparte były o statystyczne metody planowania doświadczeń. Uzyskane wyniki poddane zostały analizie statystycznej, która posłużyła do określenia równań funkcji obiektu badań, jej zależności od zmiennych niezależnych i do wyznaczenia zakresu zmienności składu chemicznego staliwa o największej udarności w ujemnej temperaturze.

EFFECT OF CHEMICAL COMPOSITION ON IMPACT STRENGTH CAST STEEL TYPE Cr-Mo-V-Cu-Ni IN LOW TEMPERATURE

This paper presents the results of impact toughness at $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ type cast steel Cr-Mo-V-Cu-Ni. Tests were based on statistical methods for planning experiments. The results obtained were subjected to statistical analysis, which was used to determine the equations of the functions of research object, its dependence on the independent variables and to determine the range of variation of chemical composition of cast steel with the largest impact at low temperature.

1. WSTĘP

Znane są przypadki kruchego pęknięcia maszyn i konstrukcji w ujemnych temperaturach. Zjawisko kruchości na zimno stało się przedmiotem badań w końcu XIX wieku. Pękały bowiem szyny, mosty kolejowe, a także statki, zbiorniki, gazociągi. Przy tym katastrofy zdarzały się najczęściej na dużych szerokościach geograficznych, w okresie zimy, przy niskich temperaturach [1].

Materiały, od których wymagana jest odporność w ujemnych temperaturach, poddawane są najczęściej badaniom właściwości w statycznej próbie rozciągania, udarności, wytrzymałości zmęczeniowej.

Szczególne miejsce wśród tych badań zajmuje popularne i szeroko stosowane badanie udarności. Udarność jest bowiem skuteczną miarą skłonności materiału do kruchego pęknięcia i temperatury przejścia plastyczno-kruchego.

Obiektem badań jest, opracowane w Instytucie Budowy Maszyn, staliwo typu Cr-Mo-V-Cu-Ni o udokumentowanej trwałości w warunkach zużycia przez tarcie,

¹ Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny, ul. Krasickiego 54, 26–600 Radom, tel.: (048) 361-76-95

zwłaszcza w ujemnych temperaturach [2,3,4]. Przy wysokiej odporności na zużycie ścierne, tego typu staliwo odznacza się jednak niską odpornością na kruche pękanie w ujemnych temperaturach.

Celem niniejszej pracy jest dobór udziałów i wzajemnych relacji ilościowych: węgla, chromu i molibdenu w wyżej wymienionym staliwie, aby uzyskać strukturę, która po ulepszeniu cieplnym zapewni odlewom wysoką udurowalność w ujemnych temperaturach.

2. METODYKA I WARUNKI BADAŃ

Do badań użyto próbek ze staliwa typu Cr-Mo-V-Cu-Ni. Skład chemiczny staliwa wynikał z przyjętej metodologii planowania doświadczeń stosując pełnoczynnikową macierz planowania 2^3 [5]. Zmiennymi niezależnymi była zawartość węgla, chromu i molibdenu. Koncepcja stopowania tymi pierwiastkami została opracowana ze względu na ich znaczące oddziaływanie na strukturę stopów, od której zależą właściwości eksploatacyjne. Aby możliwe było wnioskowanie o skuteczności oddziaływania węgla, chromu i molibdenu na udurowalność *KCU* w temperaturze -40 °C, czyniąc to na podstawie współczynników regresji, zawartości tych pierwiastków zostały zakodowane według schematu (1) i sprowadzone do wartości ± 1 . Przyjmują one w macierzy planu ortogonalnego wartość (+1) lub krócej (+) dla górnego przedziału zmienności oraz (–1) lub (–) dla dolnego przedziału zmienności.

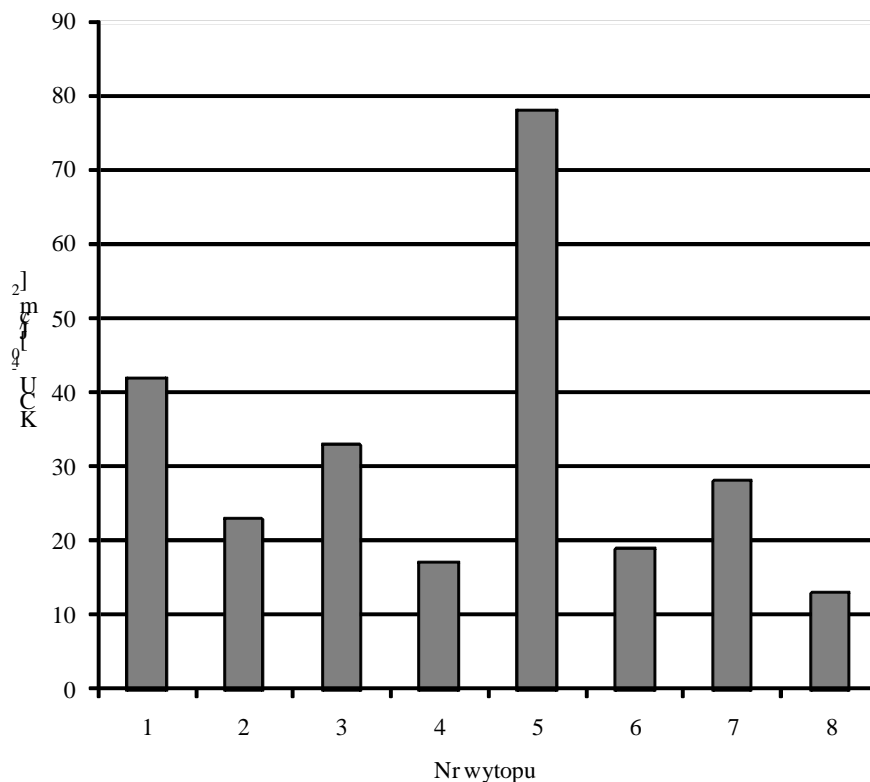
$$x_1 = \frac{C-0,4}{0,2}; \quad x_2 = \frac{Cr-8}{5}; \quad x_3 = \frac{Mo-0,5}{0,2} \quad (1)$$

gdzie: C, Cr, Mo – zawartość w procentach: węgla, chromu i molibdenu w staliwie.

Badanie udurowalności wykonano metodą Charpy'ego zgodnie z wymaganiami normy PN – 79/H – 04371. Przed przystąpieniem do badań udurowalności przeznaczone do badań gatunki staliwa zostały obrobione cieplnie według następujących parametrów:

- wyżarzanie: 830°C /180 min.,
- hartowanie: 980°C /w/o,
- odpuszczanie: 700°C /45 min.

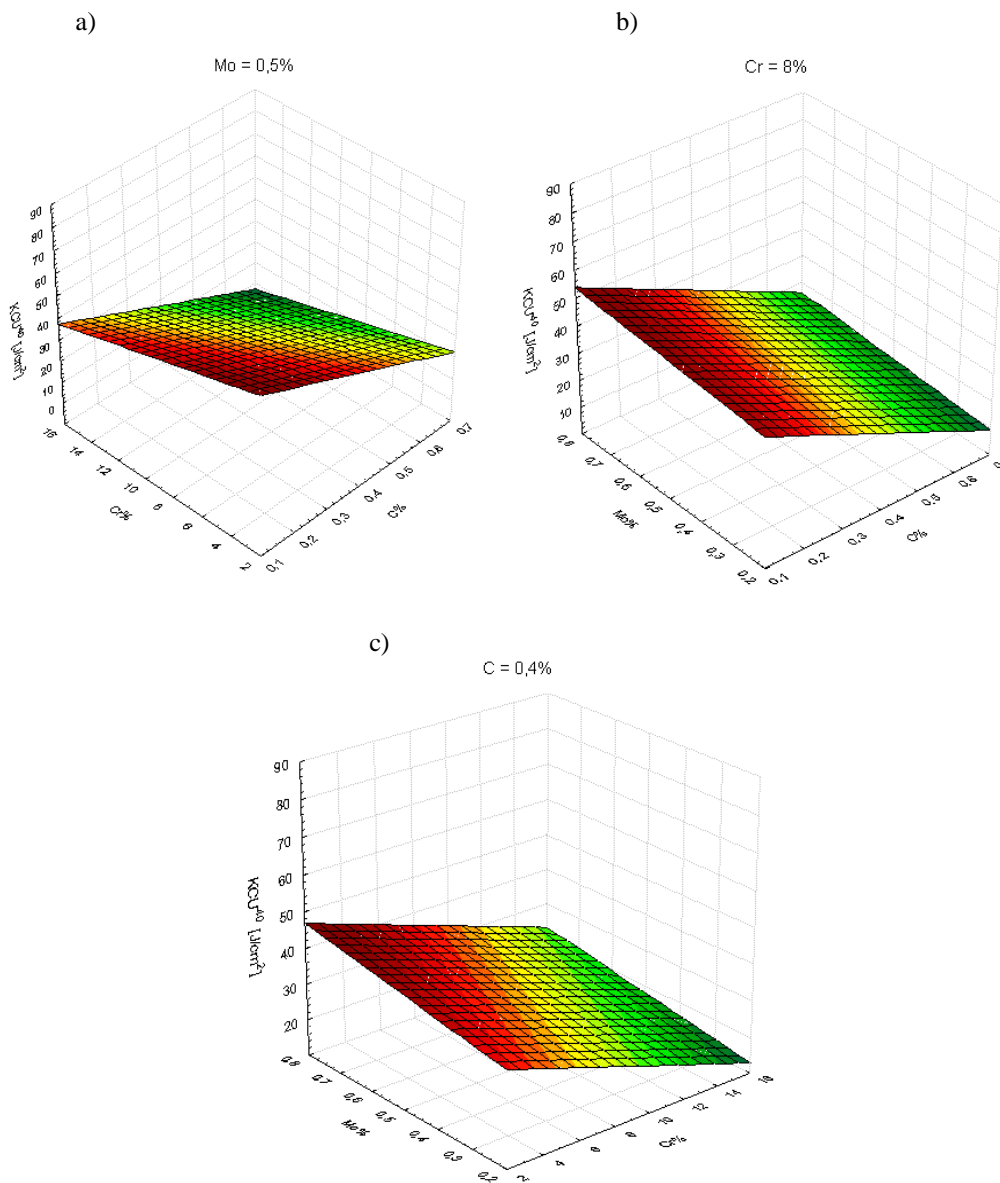
Po obróbce cieplnej na każdej próbce nacięto karb typu U. Udurowalność *KCU* w ujemnych temperaturach jest określana w Rosji i Europie Zachodniej, a również w północnych rejonach USA i Kanady. Próba udurowalności *KCU* jest rekomendowana do staliwa, gdyż uwzględnia współistnienie karbu $r = 1$ mm i naturalnych koncentratorów naprężeń w strukturze staliwa. Badania wykonano w temperaturze -40 °C. Podczas badań udurowalności, ośrodkiem oziębiającym był suchy lód z alkoholem o temperaturze -50 ± 2 °C. Doświadczenia wskazują, że w trakcie przenoszenia próbki z ośrodka oziębiającego do młota Charpy'ego, a następnie w czasie, jaki upływa do jej złamania, temperatura wzrasta o $6 \div 8$ °C.



Rys. 1. Wyniki badań udarności KCU^{40} staliwa typu Cr-Mo-V-Cu-Ni

Korzystając ze wspomaganie komputerowego, wyznaczono współczynniki regresji oraz oceniono ich istotność. Istotność równania regresji testowano w oparciu o kryterium t – Studenta i adekwatności według F – Fishera, na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. W rezultacie uzyskano równanie regresji (2), opisujące wpływ węgla, chromu i molibdenu na udarność staliwa typu Cr-Mo-V-Cu-Ni w temperaturze -40°C . Wartości poszczególnych współczynników w równaniu określają kierunek i siłę wpływu składu chemicznego na udarność badanego staliwa. Graficzną postać zależności (2) pokazano na rys. 2.

$$KCU^{40} = 30,4 - 14,9x_1 - 10,1x_2 + 1,63x_3 + 4,63x_1x_2 - 6,13x_1x_3 - 6,38x_2x_3 \quad (2)$$



Rys. 2. Wpływ zawartości pierwiastków stopowych na udarność KCU w temperaturze -40°C staliwa typu Cr-Mo-V-Cu-Ni

Z danych zawartych w tablicy 1 wynika, że spośród wszystkich wytopów największą udarność KCU w temperaturze -40°C ma staliwo nr 5 ($KCU^{-40} = 78 \text{ J/cm}^2$), najmniejszą zaś staliwo nr 8 ($KCU^{-40} = 13 \text{ J/cm}^2$). Z równania regresji (2) opisującego intensywność

i kierunek oddziaływania węgla, chromu i molibdenu na udarność w temperaturze $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ wynika, że najsilniejszy wpływ na badaną udarność wywiera węgiel ($x_1 = -14,9$). Ujemny znak przy współczynniku x_1 oznacza, że ze wzrostem zawartości węgla w staliwie spada jego udarność. Porównywalny wpływ na udarność KCU^{-40} , co do siły i kierunku, wywiera chrom ($x_2 = -10,1$). Molibden zaś w niewielkim stopniu podwyższa wartość udarności, o czym świadczy znak dodatni przy współczynniku $x_3 = 1,63$. Korzystniejsze okazuje się współdziałanie węgla i chromu (x_1x_2). Oddziaływanie tych pierwiastków jest 4-krotnie silniejsze niż molibdenu. Przeciwny wpływ na udarność KCU^{-40} – co do kierunku – ma współdziałanie węgla i chromu z molibdenem (współczynniki x_1x_3 oraz x_2x_3). Ujemne znaki przy tych współczynnikach wskazują na dominujące oddziaływanie węgla i chromu w tym współdziałaniu.

Z przeprowadzonych badań wynika, że nie wszystkie badane gatunki staliwa spełniają kryteria stawiane im przy doborze do pracy w ujemnej temperaturze (wytopy: 1, 5, 3).

4. WNIOSKI

1. Najsilniejszy wpływ na udarność KCU badanego staliwa wywiera węgiel i chrom. Wzrost zawartości tych pierwiastków w staliwie typu Cr-Mo-V-Cu-Ni powoduje spadek udarności w ujemnej temperaturze.
2. Molibden w niewielkim stopniu zwiększa KCU badanego staliwa jedynie przy niskich zawartościach węgla i chromu.
3. Najwyższą udarność KCU staliwa w ujemnej temperaturze można osiągnąć przy zawartości 0,19% węgla, 2,7% chromu oraz 0,75% molibdenu.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Со́лнцев Ю. П., Титова Т. И.: *Стали для Севера и Сибири*. Санкт Петербург, Химиздат 2002.
- [2] Mikulska A.: *Wpływ składu chemicznego na zużywanie tribologiczne staliwa typu Cr-Mo-V-Cu-Ni w niskich temperaturach*. Niedzica, XXVI Szkoła Tribologiczna 2003.
- [3] Mikulska A.: *Износостойкость литейных сталей типа Cr-Mo-V-Cu-Ni при температуре 233 К*. Sankt Petersburg, IX Международная конференция МАХ (IAR) 2003.
- [4] Mikulska A.: *Staliwa typu Cr-Mo-V-Cu-Ni do pracy w warunkach zużycia ściernego w niskich temperaturach*. Logistyka nr 6/2009, płyta CD-R.
- [5] Polański Z.: *Planowanie doświadczeń w technice*, Warszawa PWN, 1984.